

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Stuart STRICKLAND et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: (Concurrently)

Examiner:

For: METHOD FOR ITERATIVE DETERMINATION OF DISTANCE BETWEEN RECEIVING STATION AND TRANSMITTING STATION AND ALSO CALCULATING UNIT AND COMPUTER SOFTWARE PRODUCT

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

German Patent Application No(s). 10316290.9

Filed: April 9, 2003

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: 4/8/04

By: Richard A. Gollhofer
Richard A. Gollhofer
Registration No. 31,106

1201 New York, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
(202) 434-1500

THIS PAGE BLANK (USPTO)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 290.9

Anmeldetag: 09. April 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
80333 München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung zwischen einer empfangenden Station und einer sendenden Station sowie Berechnungseinheit, Computerprogrammprodukt und Datenträger

IPC: G 01 S 11/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Klostermeyer'.

Klostermeyer

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Beschreibung

Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung zwischen einer empfangenden Station und einer sendenden Station sowie
5 Berechnungseinheit, Computerprogrammprodukt und Datenträger

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung zwischen einer empfangenden Station und einer sendenden Station sowie eine entsprechende Berechnungseinheit, ein entsprechendes Computerprogrammprodukt und ein
10 entsprechender Datenträger.

Das GPS-Verfahren (GPS: Global Positioning System) zur Positionsbestimmung einer Station beruht auf dem Prinzip, Signallaufzeiten zwischen Satelliten mit bekannten Positionen und einem in einer Station eingebauten GPS-Empfänger zu messen.
15 Die Laufzeit eines Signals ist proportional zur Entfernung des jeweiligen Satelliten zu der Station, d.h. die Entfernung zwischen einem Satelliten und der Station kann mittels der Ausbreitungsgeschwindigkeit des entsprechenden Signals in die jeweilige Signallaufzeit umgerechnet werden. Da neben der Position der Station auch die Abweichung der Uhr der Station von den Atomuhren der synchronisierten Satelliten nicht bekannt ist, wird die Position der Station anhand der Entfernungen zu mindestens vier Satelliten bestimmt.
20
25

Die Signale, die die Satelliten aussenden, sind satelliten-spezifische Codesequenzen, die auf eine Trägerfrequenz aufmoduliert werden. Die Grundmessung der Station zur Bestimmung ihrer Position besteht darin, für jeden Satelliten eine Phasenverschiebung zwischen dem jeweiligen empfangenen Code und einer Kopie des Codes, die in dem Empfänger erzeugt wird, zu messen. Die jeweilige Phasenverschiebung (engl. chip code offset) ist ein Maß für die Signallaufzeit und daher für die Entfernung zwischen der Station und dem entsprechenden Satelliten.
30
35 Ein für die zivile Nutzung zur Verfügung stehender Code besteht derzeit aus 1023 Chips und wiederholt sich mit ei-

nem Zyklus von einer Millisekunde. Während der Dauer eines Codezyklus von einer Millisekunde legt das Signal eines Satelliten, das sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, etwa 300 km zurück. Die Entfernung zwischen dem Satelliten und der auf der Erde befindlichen Station beträgt jedoch typischerweise mehrere tausend Kilometer. Während der Zeit, die das Signal für die Strecke zwischen dem Satelliten und der Station benötigt, wiederholt sich der Code daher mehrere Male. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass der Satellit den Code während der Signallaufzeit N -mal zur Modulation des kontinuierlich gesendeten Signals verwendet und dass die Station den Code in der gleichen Zeit N -mal empfängt.

Eine präzise Bestimmung der Phasenverschiebung ist ein wesentlicher Bestandteil einer Bestimmung der Entfernung der Station zu dem jeweiligen Satelliten und somit Basis der Positionsbestimmung der Station. Da die Phasenverschiebung aber lediglich anhand eines Codezyklus gemessen wird, kann die gesamte Laufzeit, die das Signal für die Entfernung zwischen Satellit und Station benötigt, nicht allein aus der Phasenverschiebung bestimmt werden. Die Signallaufzeit setzt sich aus einer ganzen Anzahl von Wiederholungen des Codes sowie einem Rest zusammen, der sich aus der Ermittlung der Phasenverschiebung ergibt. Die Phasenverschiebung wird direkt von der Station berechnet, während die ganzen Vielfachen des Codes von einem iterativen Verfahren im Zuge der Bestimmung der Position der Station berechnet werden. Die Rechenleistung, die ein solches iteratives Verfahren beansprucht, hängt dabei direkt von der Anzahl der Iterationsschritte ab, die zur Bestimmung der ganzen Vielfachen des Codes eines Satelliten benötigt werden.

Die Erfindung hat daher die Aufgabe, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Entfernung zwischen einem Satelliten und einer Station anzugeben.

Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren, der Berechnungseinheit, dem Computerprogrammprodukt sowie dem Datenträger gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

- 5 Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

10 In dem erfindungsgemäßen Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung zwischen einer empfangenden Station und einer sendenden Station werden Informationen über ein von der empfangenden Station empfangenes, mit einem Code versehenes Signal der sendenden Station von einer Berechnungseinheit empfangen, wobei eine Anzahl ganzer Vielfacher des Codes während der Signallaufzeit, die das Signal zur Ausbreitung zwischen
15 der sendenden Station und der empfangenden Station benötigt, bei der empfangenden Station eintreffen. Während des ersten Iterationsschritts wird die Anzahl der ganzen Vielfachen des Codes berechnet und die berechnete Anzahl wird zumindest im zweiten Iterationsschritt ohne eine erneute Berechnung verwendet. Dadurch, dass zumindest im zweiten Iterationsschritt
20 keine erneute Berechnung der ganzen Vielfachen erfolgt, kann Rechenleistung gespart werden.

25 Besonders günstig ist es daher, wenn die berechnete Anzahl der ganzen Vielfachen des Codes in allen Iterationsschritten verwendet wird.

30 Vorteilhafter Weise wird zur Berechnung der ganzen Vielfachen des Codes eine grobe Schätzung der Position der empfangenden Station verwendet. Die grobe Schätzung der Position der empfangenden Station ermöglicht zusammen mit einer Positionsschätzung der sendenden Station eine hinreichend genaue Abschätzung der Entfernung zwischen empfangender und sender Station durchzuführen. Aus der so geschätzten Entfernung kann
35 die exakte Anzahl der ganzen Vielfachen berechnet werden, wenn die Position der sendenden Station nahezu exakt bekannt ist (bei Satelliten beispielsweise aufgrund ihrer bekannten

Sollbahnen) und wenn die Position der empfangenden Station mit einer Genauigkeit bekannt ist, die größer ist als die halbe Wellenlänge des Codes. Die Wellenlänge des Codes ergibt sich dabei aus der Multiplikation der Dauer des Codes mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals, d. h. im Vakuum mit der Lichtgeschwindigkeit. Die Bestimmung der exakten Anzahl ganzer Vielfacher erfolgt somit bereits im ersten Iterationsschritt des Verfahrens und kann in allen weiteren Iterationsschritten entfallen. Die Anzahl ganzer Vielfacher entspricht multipliziert mit der Wellenlänge des Codes einer Mindestentfernung zwischen sendender Station und empfangender Station. Diese Mindestentfernung ist einer der Summanden, die zur Berechnung der tatsächlichen Entfernung im ersten und zumindest im zweiten Iterationsschritt verwendet werden.

Zweckmäßig ist es, wenn die empfangende Station sich in einer Funkzelle eines Funkkommunikationssystems befindet und die grobe Schätzung der Position der empfangenden Station auf einem der empfangenden Station zugeordneten Zellidentifikator der Funkzelle beruht. Durch eine derartige Positionsschätzung ist die Position der empfangenden Station mit einer Genauigkeit bekannt, die größer ist als die halbe Wellenlänge des Codes. Die exakte Anzahl der ganzen Vielfachen kann somit wie im vorigen Absatz beschrieben bereits im ersten Iterationsschritt berechnet werden.

Die Anzahl der Iterationsschritte, die zur Bestimmung der Entfernung zwischen der empfangenden Station und der sendenden Station benötigt werden, lässt sich reduzieren, d. h. Rechenleistung kann gespart werden, wenn bereits im ersten Iterationsschritt ein von Null verschiedener Wert für die Signallaufzeit des Signals verwendet wird.

Die erfindungsgemäße Berechnungseinheit, das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt sowie der erfindungsgemäße Datenträger weisen alle zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens benötigten Mittel auf.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

5

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Funksystems, das die Übertragung von Signalen von vier Satelliten an eine Mobilstation zeigt und

10

Figur 2 eine Signalübertragung zwischen einem Satelliten und der Mobilstation aus Figur 1.

Gleiche Bezugszeichen in den Figuren bezeichnen gleiche Gegenstände.

15

Eine empfangende Station ist jede Station, die Signale empfangen kann. Im nachfolgenden wird als empfangende Station eine Mobilstation betrachtet. Eine Mobilstation ist beispielsweise ein Mobiltelefon oder auch eine ortsbewegliche

20

Vorrichtung zur Übertragung von Bild- und/oder Tondaten, zum Fax-, Short Message Service SMS- und Email-Versand und zum Internet-Zugang. Es handelt sich mithin um eine allgemeine Sende- und/oder Empfangseinheit eines Funkkommunikationssystems.

25

Unter einer sendenden Station ist eine Station zu verstehen, die ein mit einem Code versehenes, d.h. modulierte, Signal senden können. Eine sendende Station kann einem Funkkommunikationssystem zugeordnet sein oder als externe Station mit dem Funkkommunikationssystem Daten austauschen bzw. von dem Funkkommunikationssystem genutzt werden. Insbesondere ist eine sendende Station ein Satellit eines GPS-Systems.

30

Mit einem Code versehene bzw. modulierte Signale sind sowohl GPS-Signale als auch beliebige andere entsprechend zu einer Entfernungsbestimmung bzw. Positionsbestimmung verwendete Signale.

35

Die Erfindung kann vorteilhaft in beliebigen Funkkommunikationssystemen verwendet werden. Unter Funkkommunikationssystemen sind beliebige Systeme zu verstehen, in denen eine Datenübertragung zwischen Stationen über eine Funkschnittstelle erfolgt. Die Datenübertragung kann sowohl bidirektional als auch unidirektional erfolgen. Funkkommunikationssysteme sind insbesondere beliebige Mobilfunksysteme beispielsweise nach dem GSM-(Global System for Mobile Communication) oder dem UMTS-(Universal Mobile Telecommunication System) Standard. Auch zukünftige Mobilfunksysteme beispielsweise der vierten Generation sollen unter Funkkommunikationssystemen verstanden werden.

Im folgenden wird die Erfindung am Beispiel eines Mobilfunksystems nach dem UMTS-Standard beschrieben, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

In Figur 1 ist schematisch eine Signalübertragung von vier Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 an eine Mobilstation MS dargestellt, die sich in einer Funkzelle Z befindet. Der Mobilstation MS ist ein Zellidentifikator ZID der Funkzelle Z zugeordnet. Über den Zellidentifikator ZID ist der Mobilstation eine grobe geografische Position aufgrund der bekannten geografischen Position der Funkzelle Z zugeordnet. Typischer Weise ist die entsprechende geografische Position die Mitte der Funkzelle Z, die Position einer die Funkzelle Z versorgenden Basisstation BS, oder auch das gewichtete Mittel mehrerer Funkzellen, wenn die Mobilstation MS gleichzeitig eine Verbindung zu mehreren Funkzellen hat.

Die vier Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 übertragen jeweils Signale S1, S2, S3, S4, die mit einem satellitenspezifischen Code C1, C2, C3, C4 moduliert sind, an die Mobilstation MS. Diese Signale S1, S2, S3, S4 haben jeweils eine Signallaufzeit t_1 , t_2 , t_3 , t_4 und dienen zur Bestimmung der Entfernung zwischen der Mobilstation MS und dem entsprechenden Satelli-

ten sowie zur Positionsbestimmung der Mobilstation MS. Der Mobilstation MS sind Positionsdaten der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 bekannt. Sie kennt die Bahnen der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 aufgrund von entsprechenden Almanach
5 AL und Ephemerisdaten EP, die ihr aus einem Funkzugangsnetz UTRAN von einer Basisstation BS übermittelt werden. Die Mobilstation MS wertet die von den Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 empfangenen Signale S1, S2, S3, S4 aus und bestimmt für jedes Signal S1, S2, S3, S4 eine Phasenverschiebung des je-
10 weiligen empfangenen Codes C1, C2, C3, C4 bezüglich entsprechenden in der Mobilstation MS erzeugten Referenzcodes. Die Referenzcodes stimmen mit den Codes C1, C2, C3, C4 der jeweiligen Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 überein und werden von der Mobilstation MS so erzeugt, dass bei einer perfekten
15 Synchronisation der Mobilstation MS und der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 keine Phasenverschiebung bestünde, wenn sich der entsprechende Satellit SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 und die Mobilstation MS am gleichen Ort befänden. Zu der tatsächlich gemessenen Phasenverschiebung kommt es durch die Laufzeit t1,
20 t2, t3, t4 des entsprechenden Signals S1, S2, S3, S4 der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 und durch eine nicht perfekte Synchronisation von Atomuhren der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 untereinander und mit einer Uhr der Mobilstation MS, die für die Mobilstation MS eine Zeitmessung ermöglicht.

25 In den Signalen S1, S2, S3, S4 der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 enthalten sind jeweils sogenannte Ephemerisdaten, die unter anderem eine Abweichung des jeweiligen Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 von seiner Sollbahn angeben und eine
30 Information über den Uhrenfehler des Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 enthalten. Die Mobilstation MS übermittelt Informationen I an die Basisstation BS des Funkzugangsnetzes UTRAN, die insbesondere die gemessenen Phasenverschiebungen der Codes C1, C2, C3, C4 enthalten. Die aktuellen Ephemeris-
35 daten sind im Funkzugangsnetz beispielsweise durch einen Referenz-GPS-Empfänger bekannt. Selbstverständlich können die Informationen I auch die aktuellen Ephemerisdaten der Satel-

liten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 enthalten, falls diese im Funkzugangsnetz UTRAN nicht vorhanden sein sollten.

- Die Basisstation BS ist mit einem Funknetzcontroller RNC verbunden, in dem sich eine Berechnungseinheit BE befindet. In der Berechnungseinheit BE wird ein iteratives Verfahren zur Bestimmung der Entfernung zwischen der Mobilstation MS und den Satelliten ausgeführt. Aus den Entfernungen der Satelliten wird weiterhin die Position der Mobilstation MS bestimmt.
- Das Verfahren verwendet die Almanachdaten und die Ephemerisdaten der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 sowie die von der Mobilstation MS gemessenen Phasenverschiebungen der Codes C1, C2, C3, C4 der Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4. Die von der Berechnungseinheit BE ermittelte Position kann der Funknetzcontroller RNC, der mit einem Kernnetz CN des Funkkommunikationssystems verbunden ist an das Kernnetz CN weitergeben. Vom Kernnetz CN aus kann die Position an beliebige weitere Kommunikationssysteme weitergeleitet werden.
- Selbstverständlich kann die Berechnungseinheit BE auch in der Mobilstation MS oder im Kernnetz CN angeordnet sein.

- In Figur 2 ist schematisch die Übertragung eines Signals S1 von einem Satelliten SAT1 an eine Mobilstation MS dargestellt. Das Signal S1 ist mit einem Code C1 moduliert, der eine Dauer von t_{C1} Sekunden hat und dementsprechend alle t_{C1} Sekunden wiederholt wird. Die Dauer t_{C1} des Codes C1 ist deutlich kürzer als die gesamte Zeit t_1 , die das Signal S1 für eine Übertragung über die Entfernung D_1 zwischen dem Satelliten SAT1 und der Mobilstation MS benötigt.

Die Signallaufzeit t_1 lässt sich durch die Dauer t_{C1} eines Codezyklus ausdrücken. Es gilt:

$$t_1 = t_{C1} * (n_1 + \epsilon_1).$$

Dabei ist n_1 eine ganze Zahl ≥ 0 und entspricht der Anzahl ganzer Vielfacher des Codes C_1 , die während der Signallaufzeit t_1 erzeugt werden. Die irrationale Zahl ε_1 liegt zwischen 0 und 1 und entspricht Bruchteilen eines Codes C_1 .

5

Für die Entfernung D_1 zwischen dem Satelliten SAT_1 und der Mobilstation MS gilt die Beziehung:

$$D_1 = t_1 * v,$$

10

wobei v die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals S_1 ist.

15

Die Phasenverschiebung zwischen dem empfangenen Code C_1 und dem in der Mobilstation MS erzeugten Referenzcode ist die irrationale Zahl ε_1 . Sie wird unmittelbar durch die Mobilstation MS bestimmt. Die ganzen Vielfachen n_1 des Codes C_1 sowie der Uhrenfehler des Satelliten SAT_1 und der Uhrenfehler der Mobilstation MS werden durch das iterative Verfahren in der Berechnungseinheit BE bestimmt.

20

Die Erfindung hat den Vorteil, dass ausschließlich der erste Iterationsschritt für die Bestimmung der ganzen Vielfachen n_1 verwendet wird. Auf diese Weise werden gegenüber bisherigen Verfahren Berechnungen und somit Rechenleistung eingespart.

25

Durch einen Zellidentifikator ZID der Funkzelle Z der Mobilstation MS ist die geographische Position der Mobilstation MS vor der Positionsbestimmung mittels GPS mit einer höheren Genauigkeit bekannt als die halbe Wellenlänge Λ des Codes C_1 .

30

Die Wellenlänge Λ des Codes C_1 ist dabei gegeben durch das Produkt aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit v des Signals S_1 und der Dauer t_{C_1} des Codes C_1 . Bei einer Dauer t_{C_1} des Codes C_1 von beispielsweise einer Millisekunde ergibt sich die halbe Wellenlänge Λ des Codes C_1 zu etwa 150 km. Da typische Zellgrößen in Mobilfunksystemen in der Größenordnung von 20

35

km liegen, ist durch die Kenntnis des Zellidentifikators ZID die Position der Mobilstation MS bereits zu Beginn der Positionsbestimmung besser als die halbe Wellenlänge Λ ermittel-

bar. Die Anzahl der ganzen Vielfachen n_1 des Codes C_1 kann daher bereits im ersten Iterationsschritt gemäß der Erfindung korrekt berechnet werden. Eine erneute Berechnung der Anzahl der ganzen Vielfachen n_1 in folgenden Iterationsschritten
 5 entfällt.

Im Folgenden werden einzelne Rechenschritte des Verfahrens mit Bezug auf Figur 1 und Figur 2 beschrieben:

10 Ein Koordinatensystem zur Positionsberechnung wird beispielsweise derart gewählt, dass der Ursprung des Koordinatensystems im Mittelpunkt der Erde liegt. Ein solches Koordinatensystem wird im Englischen als Earth-centered-Earth-fixed (ECEF) bezeichnet. Die verwendeten Codes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 haben
 15 in diesem Ausführungsbeispiel alle eine Dauer t_{C1} von einer Millisekunde und bestehen jeweils aus 1023 Chips. Selbstverständlich ist die Erfindung nicht darauf beschränkt sondern lässt sich ohne weiteres auch auf andere Zeitdauern der Code-sequenzen C_1 , C_2 , C_3 , C_4 und dementsprechend andere Anzahlen
 20 von Chips übertragen. Ebenfalls kann die Erfindung angewendet werden, wenn nicht alle Codes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 die gleiche Dauer haben bzw. die gleiche Anzahl Chips aufweisen.

Die Phasenverschiebung zwischen den empfangenen Codes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 und den in der Mobilstation MS erzeugten jeweiligen Referenzcodes wird von der Mobilstation MS bestimmt und in
 25 Form von ganzen Chips $X_{w,i}$ und Bruchteilen $X_{f,i}$ von empfangenen Chips ausgedrückt. Zur weiteren Verwendung im Verfahren rechnet die Berechnungseinheit BE die Phasenverschiebung in ein
 30 Entfernungsäquivalent C_i um.

$$C_i = \Lambda (X_{w,i} + 2^{-10} X_{f,i}) / 1023$$

Hierbei steht der Index i für den jeweiligen Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 und Λ für die Wellenlänge der entsprechenden Codes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , die in diesem Ausführungsbeispiel
 35 für alle Codes C_1 , C_2 , C_3 , C_4 gleich ist.

Das Verfahren zur Bestimmung der Entfernung berechnet nun die Position des jeweiligen Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 zum Sendezeitpunkt des entsprechenden Signals S1, S2, S3, S4. Bekannt ist jedoch jeweils nur der Empfangszeitpunkt, so dass im ersten Iterationsschritt des Verfahrens eine Schätzung für den Sendezeitpunkt des jeweiligen Signals S1, S2, S3, S4 erfolgt. Als Startwert für die Iterationen wird als Sendezeit t_s eine Zeit gewählt, die beispielsweise $t_i^0 = 67,48$ Millisekunden vor dem Empfangszeitpunkt t_e liegt. Es gilt $t_s^0 = t_e - t_i^0$. Der obere Index steht hier für die Anzahl an Iterationen, beginnend mit Null im ersten Iterationsschritt. Dieser Wert ergibt sich daraus, dass die Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 bei senkrechtem Stand über der auf der Erdoberfläche befindlichen Mobilstation MS mindestens eine Entfernung von 20 230 km haben. In Verbindung mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit v der Signale S1, S2, S3, S4 kann so eine Mindestsignallaufzeit von 67,48 Millisekunden berechnet und dem Verfahren bereits im ersten Iterationsschritt als Startwert vorgegeben werden. Mit dem in dieser Weise geschätzten Wert für den Sendezeitpunkt wird eine erste geschätzte Position des jeweiligen Satelliten S_i^0 berechnet.

Selbstverständlich können auch andere Startwerte als $t_i^0 = 67,48$ Millisekunden gewählt werden. Zugrundegelegt wird einem entsprechenden Startwert t_i^0 jedoch immer eine realistische Annahme über die Mindestentfernung zwischen den Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 und der Mobilstation MS. Daraus folgt, dass für verschiedene Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 auch verschiedene Startwerte t_i^0 ausgewählt werden können.

Weiterhin benötigt das Verfahren zur Bestimmung der Entfernung den Fehler Δt_i^k der jeweiligen Satellitenuhr. Der Index k ist der Iterationsindex und beginnt im ersten Iterationsschritt mit $k=0$. Den Satellitenuhrenfehler Δt_i^k kann das Verfahren mit Hilfe eines Uhren-Korrekturvektors a_i berechnen, der in den Ephemerisdaten enthalten ist.

$$\Delta t_i^k = a_0^i + a_1^i (t_e - t_i^k - t_{oe}^i) + a_2^i (t - t_i^k - t_{oe}^i)^2$$

Es sind a_0^i , a_1^i und a_2^i die Komponenten des Uhren-
 5 Korrekturvektors \mathbf{a}_i und t_{oe}^i die Referenzzeit der Ephemeris-Daten.

Den Fehler Δt_i^k verwendet das Verfahren, um das Entfernungs-
 äquivalent C_i der Phasenverschiebung korrigieren.

10

$$\hat{C}_i^k = C_i + c \Delta t_i^k$$

In einem nächsten Rechenschritt des Verfahrens werden die
 ganzen Vielfachen n_i der Codes C_1, C_2, C_3, C_4 berechnet, die
 15 während der Übertragungszeit t des jeweiligen Signals S_1, S_2, S_3, S_4 erzeugt wurden. Hierzu verwendet das Verfahren eine grobe Schätzung der Position der Mobilstation MS. Es benutzt den der Mobilstation MS zugeordneten Zellidentifikator ZID der Funkzelle Z , um entsprechend die geografische Position \mathbf{R}^0
 20 der Mobilstation MS zu schätzen. Unter der Annahme, dass diese Position genauer ist, als die halbe Wellenlänge Λ der Codes C_1, C_2, C_3, C_4 , in diesem Ausführungsbeispiel also genauer als etwa 150 km, ergibt sich der exakte Wert der ganzen Vielfachen n_i im ersten Iterationsschritt, d. h. für $k=0$, in
 25 folgender Weise:

$$n_i = \text{int} \{ (\|\mathbf{R}^0 - \mathbf{S}_i^0\| - \hat{C}_i^0) / \Lambda \}$$

Wobei $\text{int}(x)$ die der Zahl x nächstgelegene ganze Zahl ist,
 30 mit $\text{int}(x) \leq x$.

In nachfolgenden Iterationsschritten, d. h. für $k > 0$, wird
 n_i nicht erneut berechnet.

35 Der Uhrenfehler der Mobilstation MS ist für alle Satelliten SAT1, SAT2, SAT3, SAT4 gleich und wird daher nur anhand der Daten eines Satelliten berechnet. Allgemein gilt:

$$t_b^k = \hat{C}_i^k + n_i \Lambda - || \mathbf{R}^0 - \mathbf{S}_i^0 ||$$

Mittels der ganzen Vielfachen n_i der Codes C1, C2, C3, C4,
 5 dem mit dem Satellitenuhrenfehler Δt_i^k korrigierten Entfer-
 rungsäquivalent \hat{C}_i^k der Phasenverschiebung und dem Uhrenfeh-
 ler t_b^k der Mobilstation MS wird für jeden Satelliten SAT1,
 SAT2, SAT3, SAT4 eine Entfernung ρ_i^k zur Mobilstation MS be-
 rechnet, die im Englischen auch als pseudo range bezeichnet
 10 wird.

$$\rho_i^k = \hat{C}_i^k + n_i \Lambda + c t_b^k$$

Basierend auf den Entfernungen ρ_i^k der Satelliten SAT1, SAT2,
 15 SAT3, SAT4 wird ein neuer Schätzwert \mathbf{R}^{k+1} für die Position der
 Mobilstation MS bestimmt. Mittels dieses neuen Schätzwertes
 und der für diesen Iterationsschritt geschätzten Position \mathbf{S}_i^k
 des jeweiligen Satelliten wird ein neuer Schätzwert für die
 Signallaufzeit t_i^{k+1} zwischen dem jeweiligen Satelliten SAT1,
 20 SAT2, SAT3, SAT4 und der Mobilstation MS berechnet und im
 folgenden Iterationsschritt verwendet. Es gilt:

$$t_i^{k+1} = || \mathbf{R}^{k+1} - \mathbf{S}_i^k || / c$$

25 Das Verfahren gilt als konvergiert, wenn folgende Bedingung
 erfüllt ist:

$$|| \mathbf{R}^{k+1} - \mathbf{R}^k || \leq \delta$$

30 In diesem Fall wird keine weitere Iteration ausgeführt. Die
 Entfernungen ρ_i^k zwischen der Mobilstation und den Satelliten
 stehen fest und die aktuelle Positionsschätzung \mathbf{R}^{k+1} wird als
 tatsächliche Position festgelegt und in ein Ausgabeformat
 konvertiert, das die geografische Länge, Breite und Höhe der
 35 Mobilstation MS angibt. Die Unsicherheit der Position liegt
 bei $\Delta u = || \mathbf{R}^{k+1} - \mathbf{R}^k ||$.

Ergibt sich jedoch, dass

$$|| R^{k+1} - R^k || > \Lambda/2$$

- 5 erfüllt ist, dann unterbricht das Verfahren weitere Berechnungen und gibt eine Fehlermeldung aus.

Patentansprüche

1. Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung (D1) zwischen einer empfangenden Station (MS) und einer sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4), bei dem

- Informationen (I) über ein von der empfangenden Station (MS) empfangenes, mit einem Code (C1, C2, C3, C4) versehenes Signal (S1, S2, S3, S4) der sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4) von einer Berechnungseinheit (BE) empfangen werden, wobei eine Anzahl ganzer Vielfacher (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) während der Signallaufzeit (t_1 , t_2 , t_3 , t_4), die das Signal (S1, S2, S3, S4) zur Ausbreitung zwischen der sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4) und der empfangenden Station (MS) benötigt, bei der empfangenden Station (MS) eintreffen,
- während des ersten Iterationsschritts die Anzahl der ganzen Vielfachen (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) berechnet wird
- und die berechnete Anzahl zumindest im zweiten Iterationsschritt ohne eine erneute Berechnung verwendet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die berechnete Anzahl der ganzen Vielfachen (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) in allen Iterationsschritten verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zur Berechnung der ganzen Vielfachen (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) eine grobe Schätzung der Position der empfangenden Station (MS) verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die empfangende Station (MS) sich in einer Funkzelle (Z) eines Funkkommunikationssystems befindet und die grobe Schätzung der Position der empfangenden Station (MS) auf einem der empfangenden Station (MS) zugeordneten Zellidentifikator (ZID) der Funkzelle (Z) beruht.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem bereits im ersten Iterationsschritt ein von Null verschiedener Wert für die Signallaufzeit (t_1 , t_2 , t_3 , t_4) des Signals (S_1 , S_2 , S_3 , S_4) verwendet wird.

5

6. Berechnungseinheit zur iterativen Bestimmung der Entfernung (D_1) zwischen einer empfangenden Station (MS) und einer sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4),

10

- mit Mitteln zum Empfang von Informationen (I) über ein von der empfangenden Station (MS) empfangenes, mit einem Code (C_1 , C_2 , C_3 , C_4) versehenes Signal (S_1 , S_2 , S_3 , S_4) der sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4), wobei eine Anzahl ganzer Vielfacher (n_1) des Codes (C_1 , C_2 , C_3 , C_4) während der Signallaufzeit (t_1 , t_2 , t_3 , t_4), die das Signal (S_1 , S_2 , S_3 , S_4) zur Ausbreitung zwischen der sendenden Station (Sat1, SAT2, SAT3, SAT4) und der empfangenden Station (MS) benötigt, bei der empfangenden Station (MS) eintreffen,

15

20

- mit Mitteln zur Berechnung der Anzahl der ganzen Vielfachen (n_1) des Codes (C_1 , C_2 , C_3 , C_4) während des ersten Iterationsschritts

- und mit Mitteln zur Verwendung der berechneten Anzahl ohne eine erneute Berechnung in zumindest dem zweiten Iterationsschritt.

25

7. Computerprogrammprodukt mit Programmcode-Mitteln zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wenn die Programmcode-Mittel auf einem Computer oder Prozessor ausgeführt werden.

30

8. Datenträger mit einem Computerprogrammprodukt mit Programmcode-Mitteln zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wenn die Programmcode-Mittel auf einem Computer oder Prozessor ausgeführt werden.

35

Zusammenfassung

Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung zwischen einer empfangenden Station und einer sendenden Station sowie
5 Berechnungseinheit, Computerprogrammprodukt und Datenträger

In einem Verfahren zur iterativen Bestimmung der Entfernung (D1) zwischen einer empfangenden Station (MS) und einer sendenden Station (SAT1, SAT2, SAT3, SAT4) werden Informationen
10 (I) über ein von der empfangenden Station (MS) empfangenes, mit einem Code (C1, C2, C3, C4) versehenes Signal (S1, S2, S3, S4) der sendenden Station (SAT1, SAT2, SAT3, SAT4) von einer Berechnungseinheit (BE) empfangen, wobei eine Anzahl ganzer Vielfacher (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) während der
15 Signallaufzeit (t_1, t_2, t_3, t_4), die das Signal (S1, S2, S3, S4) zur Ausbreitung zwischen der sendenden Station (SAT1, SAT2, SAT3, SAT4) und der empfangenden Station (MS) benötigt, bei der empfangenden Station (MS) eintreffen. Während des ersten Iterationsschritts wird die Anzahl der ganzen Vielfa-
20 chen (n_1) des Codes (C1, C2, C3, C4) berechnet und die berechnete Anzahl wird zumindest im zweiten Iterationsschritt ohne eine erneute Berechnung verwendet.

Figur 1

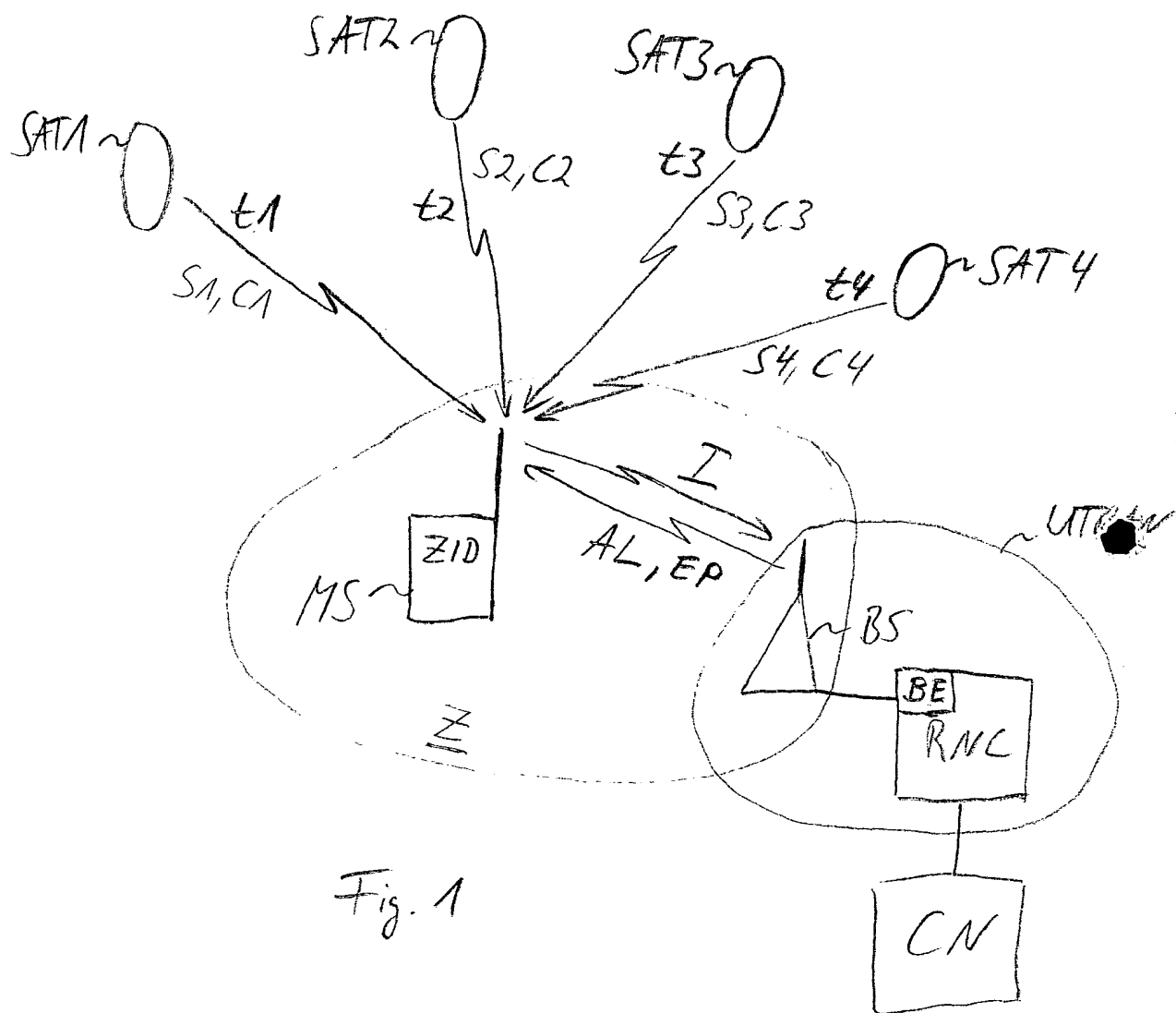


Fig. 1

2/2

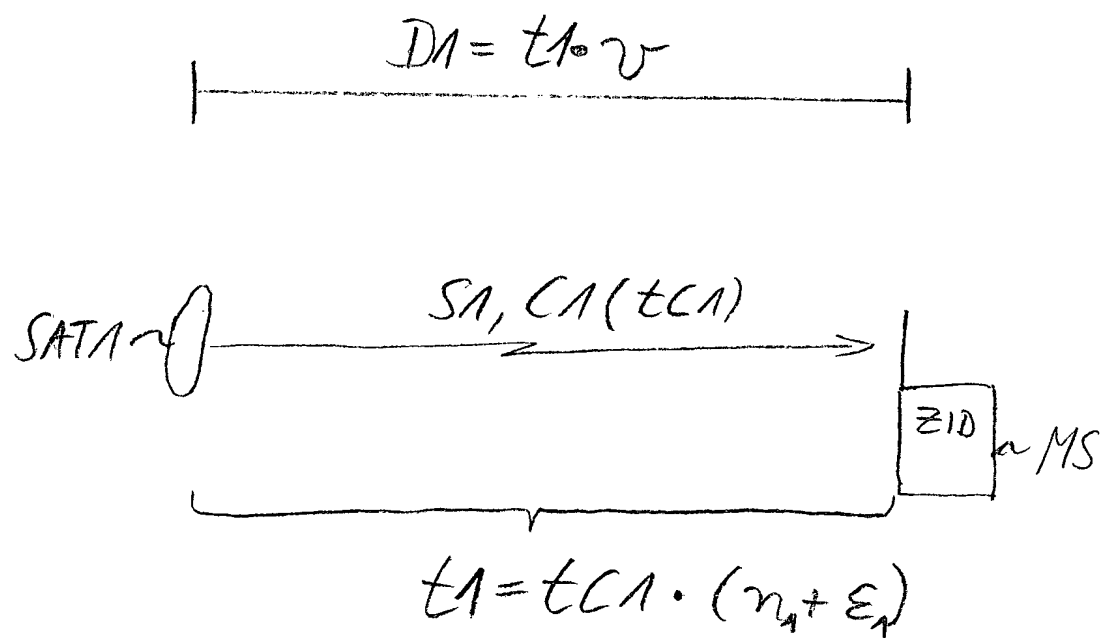


Fig. 2

THIS PAGE BLANK (USPTO)